

ANALIZA METODA PRORAČUNA PRSTENOVA PORTALNOG KRANA I BAGERA GUSENIČARA

Prof. dr Milomir Gašić, dipl. maš. inž., doc. dr Mile Savković, dipl. maš. inž., mr Goran Marković, dipl. maš. inž., Nebojša Zdravković, dipl. maš. inž.

Kategorizacija rada: PREGLEDNI RAD
Recenzent: Prof. dr Dragoslav Janošević
Rad primljen: 04.09.2008.

ADRESA:
36000 Kraljevo
Mašinski fakultet
Dositejeva 19
<http://www.mfkv.kg.ac.rs/>

Rezime: Rad se odnosi na metode proračuna koji se primenjuju na kružne prstenove portalnih kranova sa okretnim stubom i bagera guseničara. Prvi deo rada obuhvata teorijska razmatranja opterećenja kružnih prstenova i metode proračuna, takođe. U drugom delu rada izvršena je provera teorijskih rezultata proračuna metodom konačnih elemenata pomoću odgovarajućih softvera. Pokazano je da su rezultati u velikoj meri saglasni, što stvara mogućnost za teorijsku analizu uticaja raznih parametara na veličinu napona prstena i njegove deformacije.

Ključne reči: kružni prsten, portal, opterećenje, metode proračuna.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Oslonci obrtnog stuba portalnih dizalica prenose spoljašnje opterećenje na noseću konstrukciju dizalice. Donji oslonac, po pravilu, prima horizontalnu silu od momenta i, takođe, vertikalnu silu od svih vertikalnih opterećenja (slika 1a). Kružni prsten koji spaja vrhove portala prima drugu horizontalnu silu od momenta. Prsten, osim velikog zupčanka koji je sastavni deo mehanizma za obrtanje stuba, nosi i kržnu šinu koja je oslonac za točkice stuba upotrebljenih za prenošenje horizontalne sile.

U zavisnosti od geometrijskih karakteristika prstena i portala, moguće su sledeće kombinacije:

- kružni prsten i gornji deo portala su elastični,
- kružni prsten i gornji deo portala su kruti,
- kružni prsten i gornji deo portala su elastični, dok je donji deo krut i
- kružni prsten je krut, dok su gornji i donji deo portala elastični

Sile u vezama između kružnog prstena i portala su promenljive. One zavise od položaja strele u odnosu na pravac kretanja portala, rešenja veze kružnog prstena i portala, kao i od broja nogu portala. Oslonci sa 4 noge ne mogu da ostvare kontakt sa šinama bez dodatnog deformisanja portala ili prstena. U cilju eliminisanja ovog

uticaja, analiza je sprovedena na portale sa tri noge.

2. PRORAČUN I MODEL KRUŽNOG PRSTENA

Rezultati istraživanja [1] pokazuju da je portal sa 3 noge, krutim prstenom i elastičnim gornjim i donjim delom optimalno rešenje u pogledu ineziteta sila u vezama. Osim toga, taj tip rešenja omogućava formiranje modela veze između kružnog prstena i portala pomoću zglobova bez većih odstupanja.

Ako se primeni teorija kružnih prstenova sa konstantnim poprečnim presekom [2] moguće je analizirati opterećenja prstenova. Ova opterećenja su:

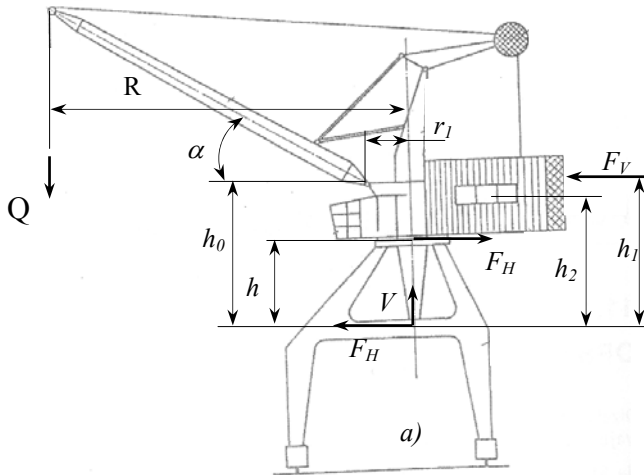
- horizontalna sila okretnog zgloba,
- radijalna sila pogonskog zupčanika,
- tangentsna sila pogonskog zupčanika,
- težina prstena, kružne šine i velikog zupčanika.

Horizontalna sila okretnog stuba, radijalna i tangentsna sila pogonskog zupčanika deluju u ravni kružnog prstena (slika. 1b).

Težine kružnog prstena kružne šine i velikog zupčanika deluju normalno na ravni kružnog prstena. Spoljašnja opterećenja kružnog prstena uslovljavaju pojavu:

- momenta savijanja X_1
- aksijalne sile X_2
- radijalne sile X_3 (slika. 2).

T_j - tangentska sila u ravni prstena,
 M_k - moment u ravni prstena.



Slika 1.

Njihove vrednosti su definisane sistemom jednačina (1) i izrazima (2) [2] :

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \sum_{i=1}^n P_i \cdot r \cdot \chi_{1P}(\varphi_i) + \sum_{j=1}^m T_j \cdot r \cdot \chi_{1T}(\varphi_j) + \sum_{k=1}^i M_k \cdot \chi_{1M}(\varphi_k) \\
 X_2 &= \sum_{i=1}^n P_i \cdot r \cdot \chi_{2P}(\varphi_i) + \sum_{j=1}^m T_j \cdot r \cdot \chi_{2T}(\varphi_j) + \sum_{k=1}^i M_k \cdot \chi_{2M}(\varphi_k) \\
 X_3 &= \sum_{i=1}^n P_i \cdot r \cdot \chi_{3P}(\varphi_i) + \sum_{j=1}^m T_j \cdot r \cdot \chi_{3T}(\varphi_j) + \sum_{k=1}^i M_k \cdot \chi_{3M}(\varphi_k)
 \end{aligned}$$

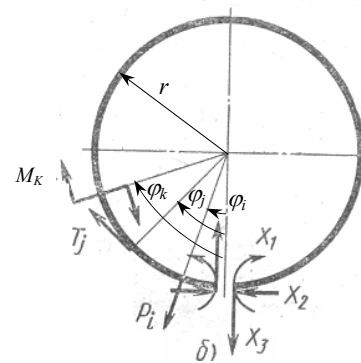
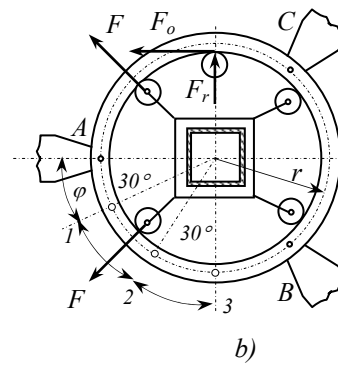
(1)

$$\begin{aligned}
 \chi_{1P}(\varphi_i) &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot (1 + \varphi \cdot \sin \varphi) \\
 \chi_{1T}(\varphi_i) &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot (\varphi \cdot \cos \varphi - \sin \varphi - \varphi) \\
 \chi_{1M}(\varphi_i) &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot (-\varphi - 2 \cdot \sin \varphi) \\
 \chi_{2P}(\varphi_i) &= \frac{-\varphi \cdot \sin \varphi}{2 \cdot \pi} \\
 \chi_{2T}(\varphi_i) &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot (-\varphi \cdot \cos \varphi + \sin \varphi) \\
 \chi_{2M}(\varphi_i) &= \frac{\sin \varphi}{\pi} \\
 \chi_{3P}(\varphi_i) &= \frac{-\varphi \cdot \cos \varphi}{2 \cdot \pi} \\
 \chi_{3T}(\varphi_i) &= \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot (\varphi \cdot \sin \varphi + \cos \varphi) \\
 \chi_{3M}(\varphi_i) &= \frac{\cos \varphi}{\pi}
 \end{aligned}$$

(2)

gde je:

P_i - radijalna sila u ravni prstena,



Slika 2.

Opterećenja uzrokovana težinom kružnog prstena, kružne šine i velikog zupčanika deluju u ravni normalnoj na ravan prstena. Moment X_1 i X_2 i sile X_3 (slika. 3) su određeni sistemom jednaina (3) i izrazima (4):

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \sum_{i=1}^n P_i \cdot r \cdot M_{1P}(\varphi_i) + \sum_{j=1}^m M_j \cdot M_{1M}(\varphi_j) + \sum_{k=1}^i M_k \cdot M_{1K}(\varphi_k) \\
 X_2 &= \sum_{i=1}^n P_i \cdot r \cdot M_{2P}(\varphi_i) + \sum_{j=1}^m M_j \cdot M_{2M}(\varphi_j) + \sum_{k=1}^i M_k \cdot M_{2K}(\varphi_k) \\
 X_3 &= \sum_{i=1}^n (-P_i) \cdot \varphi_i \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi} + \sum_{k=1}^i \frac{M_j}{2 \cdot \pi \cdot r}
 \end{aligned}$$

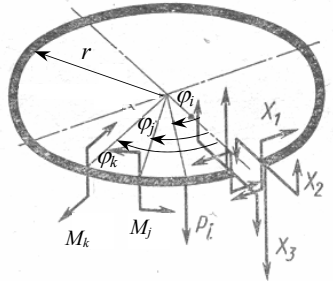
(3)

gde je:

$$\begin{aligned}
 M_{1P}(\varphi_i) &= \frac{\varphi \cdot \sin \varphi}{2 \cdot \pi} \\
 M_{1M}(\varphi_i) &= \frac{\varphi \cdot \cos \varphi + \sin \varphi}{2 \cdot \pi} \\
 M_{1K}(\varphi_i) &= \frac{-\varphi - \sin \varphi}{2 \cdot \pi} + \frac{\cos \varphi}{\pi \cdot \left(1 + \frac{G \cdot I_0}{E \cdot I_x}\right)} \\
 M_{2P}(\varphi_i) &= \frac{-\varphi + \varphi \cdot \cos \varphi}{2 \cdot \pi}
 \end{aligned}$$

$$M_{2M}(\varphi_i) = \frac{-1 - \varphi \cdot \sin \varphi + \cos \varphi}{2 \cdot \pi}$$

$$M_{2K}(\varphi_i) = \frac{-\varphi \cos \varphi}{2 \cdot \pi} + \frac{\sin \varphi}{\pi \cdot \left(1 + \frac{G \cdot I_0}{E \cdot I_x}\right)} \quad (4)$$



Slika 3.

Prema izrazima (4) koji se odnose na $M_{1K}(\varphi_i)$ i $M_{2K}(\varphi_i)$, postoje i izrazi GI_0/EI_x , (5).

$$\frac{G \cdot I_0}{E \cdot I_x} \quad (5)$$

gde je

E - modul elastičnosti,

G - modul klizanja,

I_x - aksijalni moment inercije,

I_0 - torzioni moment inercije.

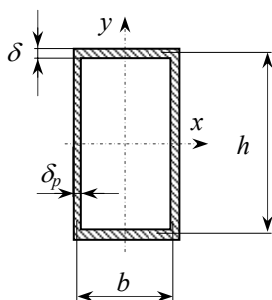
Ako prsten ima presek kutijastog oblika, napravljen od čeličnih ploča konsantne debljine, zavisnost (5) se može transformisati u manje složen oblik preko relacije [3]:

$$\frac{I_x}{I_0} = \frac{2 \cdot k}{3} \quad (6)$$

gde je

$k = \frac{h}{b}$ - odnos između visine i širine poprečnog

preseka kutijastog nosača (slika.4).



Slika 4.

Nova relacija je dobijena transformisanjem (5):

$$\frac{G \cdot I_0}{E \cdot I_x} = \frac{\sqrt{3}}{3 \cdot k} \quad (5.1)$$

Radialne i tangentne sile deluju u ravni kružnog prstena, dok momenti deluju u ravni normalnoj na ravan prstena, tako da se sabirci sa momentima M_k izbacuju iz jednačine (1). U sisemu jednačina (3) ostaju samo prvi sabirci (normalne sile P_i , slika.3).

Jednačine (1) i (3) kao i prethodni zaključci, su primenjeni u cilju proračuna kružnog prstena portalnog kрана sa tri noge (slika 1a) sledećih karakteristika:

$Q = 3,2t$ - nosivost

$R = 22m$ - dohvrat strele

$n = 1,6^\circ/\text{min}$ - broj obrtaja stuba

$\alpha = 25^\circ$ - minimalni ugao strele

$h = 3,75m$ - rastojanje gornjeg i donjeg oslonca strele

$r_1 = 1,2m$ - distanca između zgloba strele i ose obrtanja

$h_0 = 8,5m$ - distanca između zgloba strele i donjeg oslonca

$h_1 = 8,5m$ - distanca između sile vetra na stub i kontratega

$h_2 = 6,5m$ - distanca između težišta kontratega i donjeg oslonca

$r = 1,5m$ - poluprečnik kružnog prstena

Sile pritiska točkića na prsen i tangentna i radialna sila zupčanika su uzeti uobzir, iako proračun ovde nije prikazan:

$F = 270kN$ - sila na točkiću,

$F_o = 96kN$ - tangentna sila na zupčaniku,

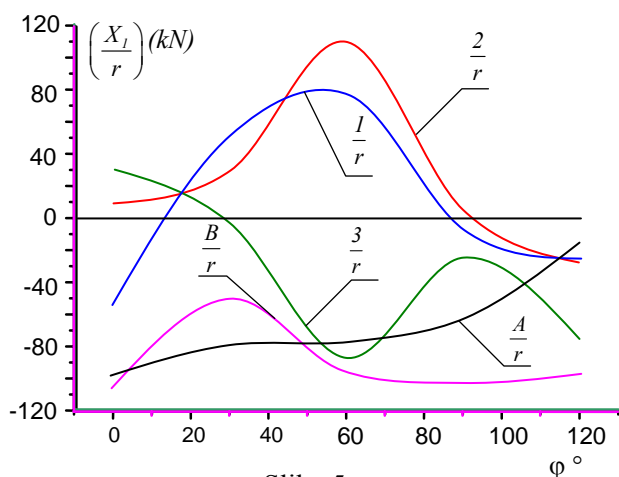
$F_r = 35 kN$ - radialna sila na zupčaniku.

Sprovedena je analiza opterećenja na delu prstena između tačaka (A i B).

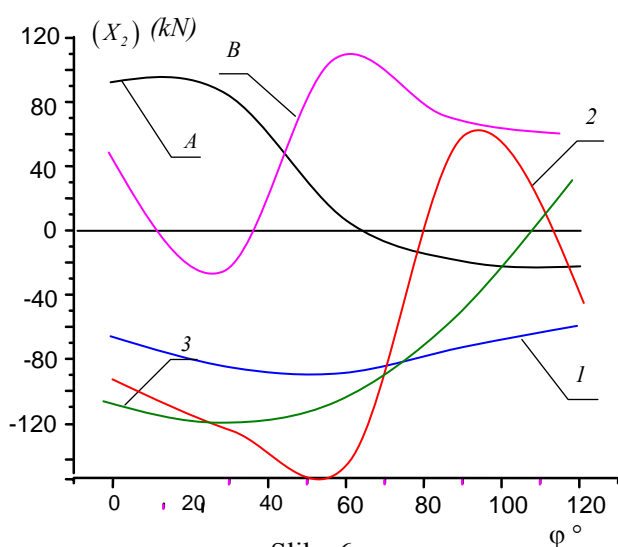
Vrednost momenta X_1 u proizvoljnom preseku je određena ako se iskoristi prva jednačina iz sistema jednačina (1). Dijagram (slika.5) pokazuje rezultate proračuna momenta X_1 u presecima prstena A, 1, 2, 3 i B. Maksimalna vrednost je u tački 2:

$$X_{1,max} = \left(\frac{X_1}{r}\right) \cdot r = 110.51 \cdot 150 = 16576.5 \text{ kNcm}$$

Vrednosti aksijalne sile X_2 u proizvoljnom poprenom preseku prstena je određena preko druge po redu jednačine sistema (1). Dijagram (slika.6) prikazuje vrednosti u presecima A, 1, 2, 3 i B.

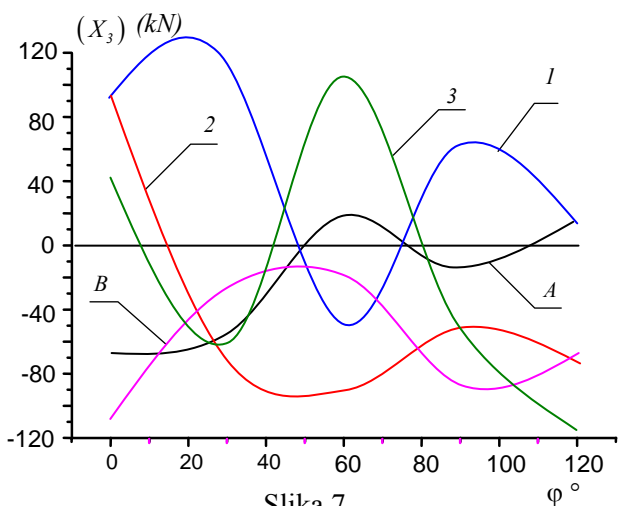


Slika 5.



Slika 6.

Vrednosti transverzalnih sila X_3 u proizvoljnom poprečnom preseku prstena su određene preko treće po redu jednačine sistema (1). Slika 7 prikazuje rezultate proračuna u tačkama A, 1, 2, 3 i B.



Slika 7.

Opterećenja prstena, kružne šine i velikog zupčanika su mala (njihove težine) u odnosu na opterećenja u horizontalnoj ravni, pa se njihovi uticaji zanemaruju, tj., momenti X_1 i X_2 i sile X_3 nisu prikazani u ovom radu.

Ako se navedena opterećenja, za dati položaj oslonih točkića, uvedu korišćenjem MKE, dobijaju se sledeći rezultati (Tabela 1). Ovi rezultati su, ujedno, maksimalne vrednosti za X_1 , X_2 i X_3 .

Tabela 1.

	Tačka	Aksijalna sila, kN	Transverzalna sila, kN	Moment, kNm
MK E	2	-	- 91,088	16634,26
Teorijski rezultat	2	- 148,10	- 91,28	16576,50

Treba napomenuti da su vrednosti za X_1 , X_2 i X_3 za tačke (A, 1, 3 i 4) približno jednake sa vrednostima koje su dobijene sa metodom konačnih elemenata (odstupanja su manja od 10%).

4. ZALJUČAK

Ako se rezultati proračuna krunih prstenova portalnih kranova sa okretnim stubom analiziraju teorijskim izrazima za proračun prstena, oni u punoj meri odgovaraju rezultatima dobijenim metodom MKE. Ovaj zaključak je vrlo važan, jer se teorijsko razmatranje opterećenja prstenova može uraditi sa uticajem raznih parametara, značajnih za smanjenje napona u prstenu.

LITERATURA

- [1] KURTH, F., SCHULZE, W., UND WARKENTHIN. *Hinweise zur statischen berechnung von portalkranstruktionen für Blocksäulen Drehkrane*, Wissenschaftliche Zeitschrift TH Magdeburg, 8 Jg 1984 N.1.
- [2] S.V. Borjašinov: *Osnovi stroitel'noj mehaniki mašin*, Mašinstroenie, Moskva, 1973.
- [3] Janošević D.: *Analiza dinamičke stabilnosti hidrauličkih bagera*, Časopis IMK -14 oktobar, br1-2, pp. 7-12, 2002.
- [4] Radovanović M.: *Određivanje elemenata preseka reznog sloja kod obimnog glodanja sa*

- velikim pomakom, Časopis IMK -14 oktobar, br10, pp. 25-29, 1999.
- [5] Janićijević N.: *Određivanje pouzdanosti prenosnika snage mobilnih mašina*, Časopis IMK -14 oktobar, br2-3, pp. 7-11, 1998.
- [6] Smolnicki ., Derlukiewicz D., Stanco .: Evaluation of load distribution in the superstructure rotation joint of single-bucket caterpillar excavators, Automation and Construction, Vol. 17 (2008), pp. 218-223.

ANALYSIS OF CALCULATION METHODS APPLIED TO THE RINGS OF PORTAL CRANE AND CATERPILLAR EXCAVATORS

Summary: *The paper deals with calculation methods which have been applied to circular rings of portal cranes having revolving columns. The first part of the paper includes theoretical analysis of the loads of circular rings and calculation methods, too. In the second part of the paper the theoretical results of the calculation have been checked by finite element method (FEM) and by calculation software. It has been proved that calculation results have a high level of conformity, which provides the possibility for theoretical analysis of influence of different parameters on the intensity of ring stress and ring deformation.*

Key words: *circular ring, portal, loads, calculation methods.*